

Identifikasi Ketahanan Konfigurasi Bangunan Terhadap Gempa (Studi Kasus : Rumah Sakit Swasta 10 Lantai Di Palembang)

Livian Teddy¹, Gagoek Hardiman², Nuroji³

1.Dosen Teknik Arsitektur Univ. Sriwijaya Palembang. Email : livianteddy@gmail.com

2.Guru Besar Program Doktor Teknik Arsitektur dan Perkotaan Univ. Diponegoro Semarang.

3.Dosen Program Doktor Teknik Sipil Univ. Diponegoro Semarang.

Abstrak

Indonesia merupakan wilayah yang rawan gempa karena dilalui oleh beberapa jalur gempa teraktif di dunia seperti jalur gempa Mediteranian dan Circum Pasifik. Dengan kondisi seperti ini sudah seharusnya bangunan di Indonesia didisain tahan gempa. Salah satu prinsip dasar dalam mendisain bangunan tahan gempa adalah *regularity* atau regularitas/keteraturan. Tetapi pada kenyataannya bangunan ireguler/tidak beraturan tidak terelakkan bahkan cenderung menjadi *trend*. Pada prinsipnya tidak ada larangan mendisain bangunan ireguler tetapi perancang harus tahu konsekuensi masalah perilaku gempa terhadap bangunan. Untuk itu pada tulisan ini akan meneliti sebuah rumah sakit 10 lantai di Palembang untuk mengidentifikasi konfigurasi ireguler yang terjadi dan untuk mempelajari respon konfigurasi bangunan tersebut terhadap gempa.

Pada penelitian ini menggunakan metode penelitian studi kasus dengan simulasi. Data arsitektur dan data struktur bangunan rumah sakit dijadikan model dalam *software* STAADPRO kemudian hasil numeriknya di grafikan dan ditabulasi kemudian dianalisa dengan teori-teori yang ada.

Adapun hasil penelitian pada pengujian 5 kategori ireguleritas horisontal, disain bangunan hanya mengandung kategori ireguler ketidakberaturan sudut dalam, dan mengandung kategori ireguler sistem paralel sedangkan pada pengujian 5 kategori ireguleritas vertikal, disain bangunan hanya sedikit mengandung kategori ireguler berat/massa, dan sedikit mengandung kategori ireguler geometri vertikal.

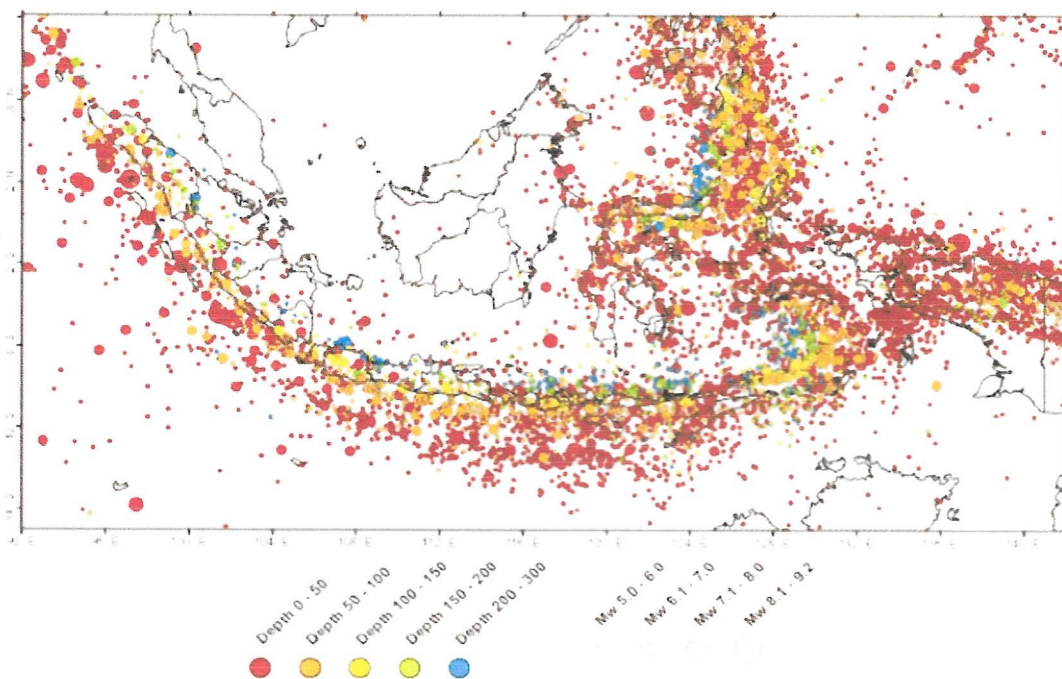
Secara umum respon bangunan terhadap gempa masih cukup baik tetapi masih mengandung iregularitas yang dapat menimbulkan potensi perilaku bangunan terhadap gempa yang tidak diharapkan. Untuk itu perlu disain struktur yang baik, pengerjaan konstruksi yang memadai dan pemeliharaan yang rutin. Jika tidak hal-hal yang diperkirakan diatas tidak menimbulkan masalah tetapi dengan kualitas disain struktur yang buruk, pengerjaan konstruksi yang sembarangan dan tidak dipelihara dengan baik hal seperti terjadinya eksentrisitas yang kecil saja bisa menimbulkan masalah torsi pada bangunan.

Kata kunci : gempa, ireguler horisontal, ireguler vertikal, eksentrisitas

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan wilayah yang sangat rawan gempa karena terdapat 3 lempeng tektonik besar yaitu Euranesia, Indo-Australia dan Pasifik serta 9 lempeng kecil lainnya yang bertemu di wilayah Indonesia yaitu lempeng Birma, lempeng Maluku, lempeng Laut Banda, lempeng

Timor, lempeng Filipina, lempeng Caroline, lempeng Birdhead, lempeng Mauke dan lempeng Woodlark.ⁱ Dari tahun 1900 s/d 2009 terdapat 50.000 gempa dengan $M \geq 5$ yang terjadi di Indonesia atau kurang lebih dirata-rata ± 460 gempa/tahun. Jika dikurangi dengan gempa ikutan terdapat 14.000 gempa utama. Dengan kondisi rawan gempa seperti ini, sudah seharusnya bangunan-bangunan yang ada di Indonesia didisain tahan gempa.



Gambar 01. Data episenter gempa utama di Indonesia dan sekitarnya untuk magnituda $M \geq 5.0$ dalam rentang waktu tahun 1900-2009.ⁱⁱ

Di dalam banyak peraturan tentang bangunan tahan gempa, salah satu prinsip dasar dalam mendisain bangunan tahan gempa adalah *regularity* atau reguler/keteraturan.

Gempa mempunyai sifat getaran yang ireguler baik horisontal maupun vertikal. Dampak getaran ireguler ini pada bangunan dapat dikurangi jika bangunan memiliki konfigurasi yang reguler yaitu agar tidak terjadi efek torsional dan transional pada bangunan tidak berlebihan yang dapat mengakibatkan kerusakan fatal pada bangunan. Selain itu, konfigurasi reguler juga menyebabkan distribusi gaya lebih merata kepada elemen-elemen struktural seperti balok dan kolom sehingga terjadinya konsentrasi tegangan pada elemen-elemen struktural tertentu saja dapat dihindari.

Pada kenyataannya di lapangan, konfigurasi bangunan ireguler tidak terelakkan bahkan cenderung menjadi *trend*. Beberapa disebabkan kemungkinan kurangnya pemahaman arsitek tentang konsep bangunan tahan gempa, alasan-alasan fungsional yang tak terhindarkan misalnya bentuk lahan, kebutuhan ruang tetapi juga tidak jarang alasan subyektif arsitek, klien atau kombinasi keduanya. Pada prinsipnya tidak ada larangan untuk membuat bentuk-bentuk ireguler tetapi yang menjadi perhatian adalah konsekuensi dari penggunaan bentuk-bentuk ireguler tersebut dalam masalah perilaku gempa terhadap bangunan.ⁱⁱⁱ Untuk itu pada tulisan ini akan meneliti sebuah rumah sakit 10 lantai di Palembang untuk mengidentifikasi konfigurasi ireguler yang terjadi dan untuk mempelajari respon konfigurasi bangunan tersebut terhadap gempa. Yang tujuannya dari hasil penelitian ini bisa menjadi masukan bagi arsitek dalam mendisain bangunan rumah sakit tahan gempa.

2. Konfigurasi Bangunan Reguler/Ireguler

Di SNI 1726:2012 telah diatur tentang konfigurasi bangunan reguler/ireguler sebagai acuan perencanaan bangunan di Indonesia (tabel 01 dan tabel 02).

Tabel 01. Konfigurasi ireguler/ketidak-

Tabel 02. Konfigurasi ireguler/ketidak-

beraturan Horisontal.^{iv}

beraturan Vertikal.⁴

Tipe dan penjelasan ketidakberaturan		Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	
1a	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku	1a	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.
1b	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku	1b	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 60 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.
2	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan.	2	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150 persen massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.
3	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 persen daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 persen dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya	3	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa di semua tingkat lebih dari 130 persen dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya
4	Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal.	4	Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal didefinisikan ada jika pegeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya
5	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan gaya gempa.	5a	Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau
		5b	Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat yang Berlebihan didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat tingkat adalah kuat total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau

Secara umum konfigurasi ireguler horisontal akan menimbulkan eksentrisitas pada bangunan sedangkan ireguler vertikal akan menimbulkan perlemahan tingkat pada bangunan.

3. Metoda Penelitian Dan Data Bangunan Rumah Sakit

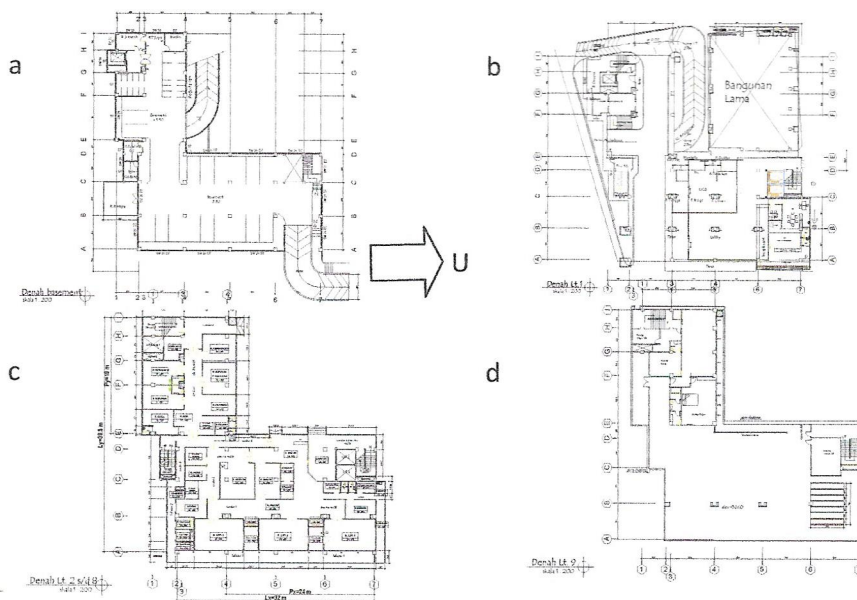
3.1. Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan jenis penelitian eksperimen simulasi. Data arsitektur dan data struktur bangunan rumah sakit dijadikan model dalam *software* STAADPRO dan di analisa dengan metode analisa gempa statik ekuivalen kemudian hasil numeriknya ditabulasi dan dianalisa dengan teori-teori yang ada.

3.2. Data Arsitektur Rumah Sakit

Bangunan rumah sakit ini terdiri dari 10 lantai, yang terdiri lantai semi basemen dan 9 lantai di atasnya. Adapun masing-masing lantai difungsikan sebagai :

- ❑ Lantai basemen : tempat parkir motor, mekanikal & elektrik dan ruang servis lainnya.
- ❑ Lantai 01 : R. UGD dan administrasi pengelola.
- ❑ Lantai 02 : R. Operasi dan bersalin
- ❑ Lantai 03 s/d 08 : R. rawat inap
- ❑ Lantai 09 : R. rapat, r. mesin lift, tempat tandon air.

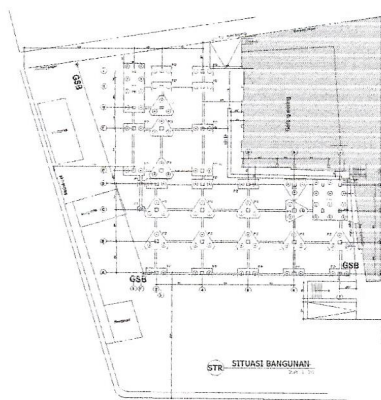


Gambar 02. Denah lantai rumah sakit :

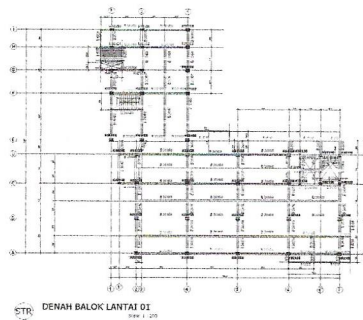
a). Lt. Semi basemen, b). Lt. 01, c). Lt.03 s/d 08 & d).lt. 09

3.3. Data Struktur Rumah Sakit

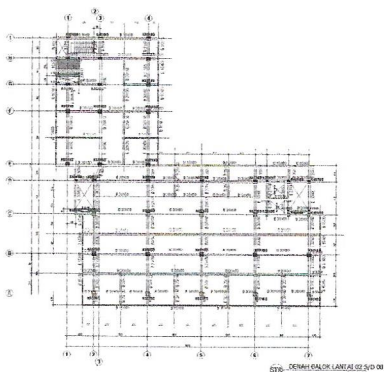
Struktur atas jenis struktur yang digunakan pada rumah sakit ini adalah sistem rangka rigid balok dan kolom beton. Sedangkan sistem penahan beban lateral menggunakan sistem rangka beton penahan momen tingkat menengah. Kolom struktur utama yang digunakan berdimensi 60/60 dan 40/60. Balok induk yang digunakan 30/60 sedangkan balok anak bervariasi 30/60, 20/50 dan 20/40. Plat lantai yang digunakan dengan tebal 12 cm.



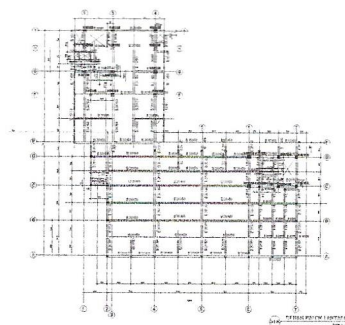
a



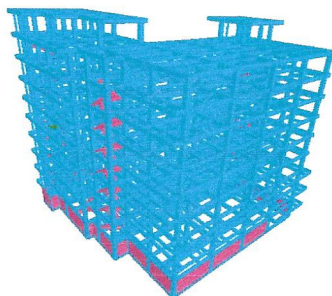
b



c



d



d

Gambar 03. Gambar struktur rumah sakit :a). Denah pondasi & balok lt. Basemen, b). Denah balok lt.01, c). Denah balok lt. 02s/d lt.08, & d). Denah balok lt. 09

4. Hasil Dan Pembahasan

Adapun dari hasil pengujian :

4.1. Konfigurasi Ireguler Horizontal

□ Konfigurasi Ireguler Torsi (Tipe -1a) Dan Ireguler Torsi Berlebihan (Tipe -1b)

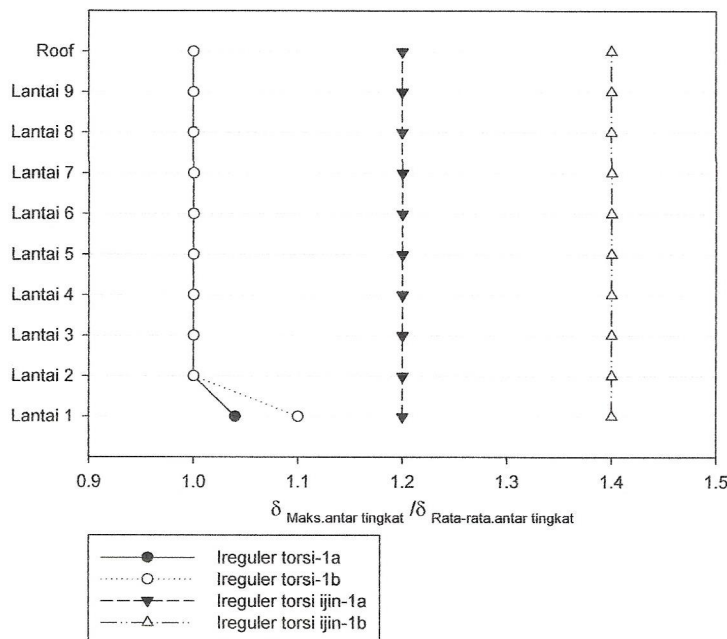
Torsi / puntir pada bangunan terdiri dari torsi inheren/bawaan dan torsi eksindetal / tak terduga.

Torsi terjadi akibat pusat massa bangunan dan pusat kekakuan bangunan terjadi eksentrisitas / tidak berimpit. Untuk menguji apakah terjadi atau tidaknya konfigurasi irreguler rumah sakit yang menyebabkan irreguler/ketidakteraturan torsi dan irreguler torsi berlebihan dengan mengikuti ketentuan sbb :

$$\delta_{maks.} < 1,2. \delta_{rata-rata} \rightarrow \text{tidak ada ireguleritas}$$

$$1,2. \delta_{rata-rata} \leq \delta_{maks.} \leq 1,4. \delta_{rata-rata} \rightarrow \text{ada ireguleritas}$$

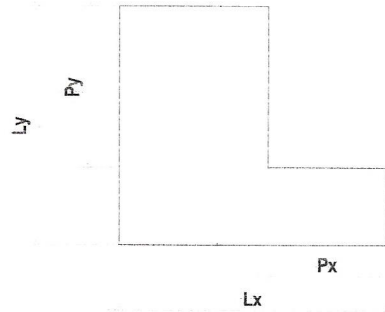
Dari gambar 04, walaupun terjadi eksentrisitas pada gedung tetapi tidak terjadi torsi atau jika terjadi torsi masih dalam batas toleransi gedung dalam menahan puntir. Karena efek puntir terutama pada rangka beton sifatnya sangat merusak dan menghancurkan gedung yang dapat mengakibatkan gedung *collapse* terutama gedung-gedung non daktil.



Gambar 04. Pengecekan irreguler torsi 1a dan 1b arah sumbu Utara-Selatan & Barat-Timur (sumber : analisa)

❑ **Konfigurasi Ireguler Sudut Dalam (Tipe -2)**

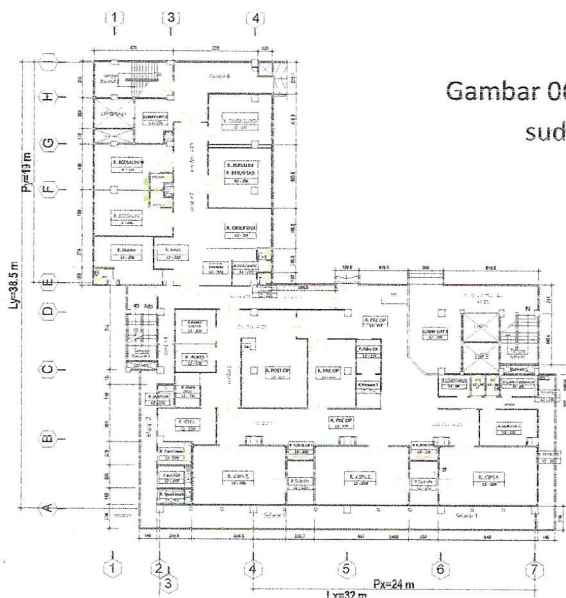
Menurut SNI 1726:2012 ireguler sudut dalam dapat terjadi jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar daripada 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan. Konfigurasi seperti ini akan menyebabkan torsi/puntir pada gedung. Untuk menguji apakah konfigurasi ireguler/ketidakberaturan sudut dalam terjadi pada gedung rumah sakit dengan ketentuan sbb :



$$P_y > 0,15.L_y \text{ dan } P_x > 0,15.L_x \rightarrow \text{ada ireguleritas}$$

Gambar 05. Ketentuan konfigurasi ireguler sudut dalam (Tipe-2)

Masing-masing rasio tonjolan bangunan dengan panjang bangunan yaitu $P_x/L_x = 24/32 = 0,75 = 75\%$ dan $P_y/L_y = 19/38,5 = 0,49 = 49\%$. Jadi masing-masing arah -X dan -Y rasionya melebihi 15%. Sehingga bisa dikatakan bangunan rumah sakit memiliki konfigurasi ireguler sudut dalam.

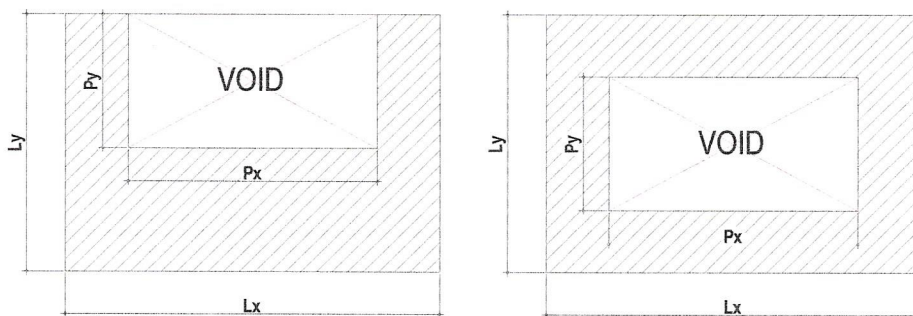


Gambar 06. Pengecekan konfigurasi ireguler sudut dalam (sumber : analisa)

Dengan konfigurasi seperti ini pada saat terjadinya gempa kemungkinan besar bangunan akan mengalami puntir dan sebaiknya efek puntir/torsi ini sebaiknya dihindari karena akan menimbulkan efek-efek lainnya yang kurang menguntungkan bagi stabilitas bangunan rumah sakit.

❑ Konfigurasi Ireguler Diskontinuitas Diafragma (Tipe -3)

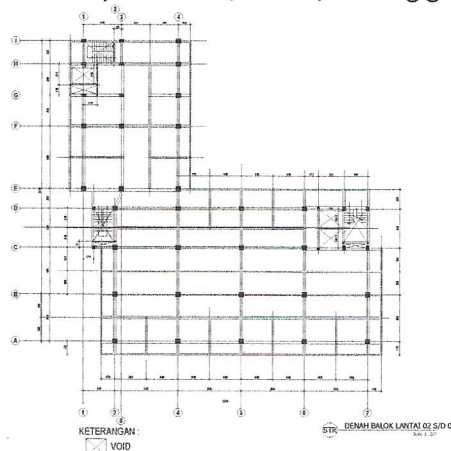
Menurut SNI 1726:2012, konfigurasi ini terbentuk jika terdapat lubang pada lantai lebih dari separuh luas lantai. Konfigurasi seperti ini akan mengurangi integritas lantai dalam menyalurkan beban gempa ke elemen-elemen struktur lainnya. Untuk menguji apakah konfigurasi ireguler diskontinuitas diafragma terbentuk pada bangunan rumah sakit dengan ketentuan sbb :



$$\frac{P_x.P_y}{L_x.L_y} = 50\% \rightarrow \text{ada ireguleritas}$$

Gambar 07. Ketentuan konfigurasi Iregulerdiskontinuitas diafragma (Tipe-3)

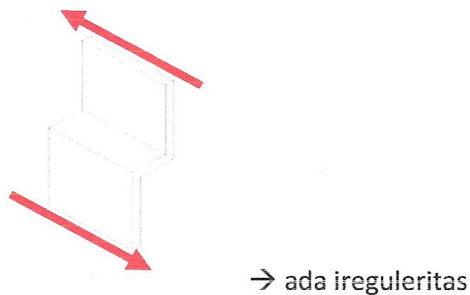
Luas lantai tipikal rumah sakit ± 987,23 m² dan lubang-lubang yang pada lantai bangunan diperuntukkan bagi sirkulasi lift dan tangga, dan untuk lubang bagi jaringan mekanikal elektrik. Luasnya lubang tersebut rata-rata perlantai ±72,95 m². Jika diperbandingkan = 72,95/987,23 = 0,074 atau 7,4% dari luas lantai tipikal. Luas lubangnya tidak terlalu berarti dan hal ini memberikan keuntungan bagi integritas struktur lantai dalam menahan gempa dan mendistribusikan beban gempa ke seluruh elemen struktur seperti balok, kolom, dinding geser.^v



Gambar 08. Pengecekan konfigurasi ireguler diskontinuitas diafragma (sumber : analisa)

❑ **Konfigurasi Ireguler Pergeseran Melintang Terhadap Bidang (Tipe -4)**

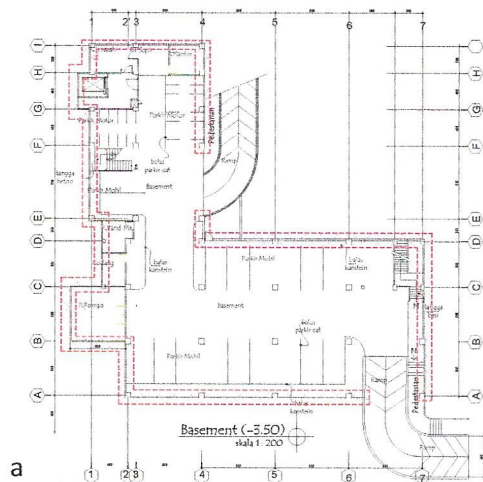
Menurut SNI 1726:2012, konfigurasi ini terbentuk jika terdapat diskontinuitas dalam penyaluran gaya lateral. Konfigurasi seperti ini akan menyebabkan perbedaan kekakuan yang signifikan antar lantai yang dapat menyebabkan terjadinya *soft story*. Untuk menguji apakah konfigurasi ireguler pergeseran melintang terhadap bidang terbentuk pada bangunan dengan ketentuan sbb :



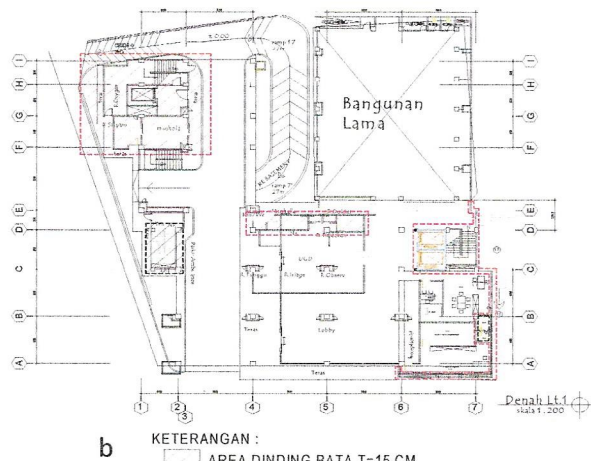
Gambar 09. Ketentuan konfigurasi ireguler

Pergeseran Melintang Terhadap Bidang (Tipe-4)

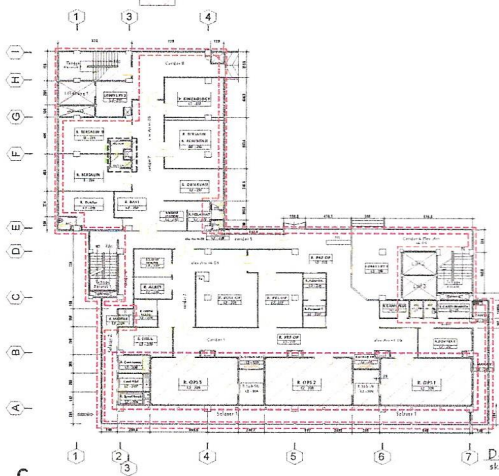
Pada basement dinding terluar menggunakan dinding geser beton $t=20$ cm yang memperkuat struktur bagian bawah (gmb 10a). Sedangkan dinding atas bangunan rumah sakit ini didominasi dengan dinding partisi *Eps Panel Sandwich* sedangkan dinding bata digunakan di area servis (gmb. 10b s/d 10e). Dinding *Eps Panel Sandwich* berat hanya 85 kg/m^2 dibandingkan dinding bata 250 kg/m^2 . Dengan kondisi seperti ini cukup menguntungkan sebab ketika terjadi gempa dinding partisi langsung hancur dan tidak memberikan perbedaan kekakuan pada bangunan yang mengurangi kemungkinan efek *soft story* pada rumah sakit.



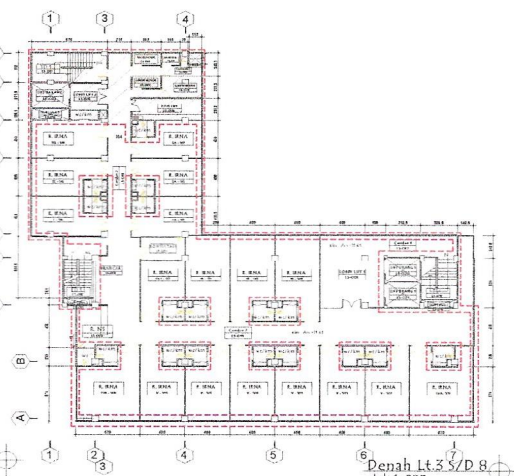
KETERANGAN :
 AREA DINDING BETON T=20 CM
 AREA DINDING BATA T=15 CM



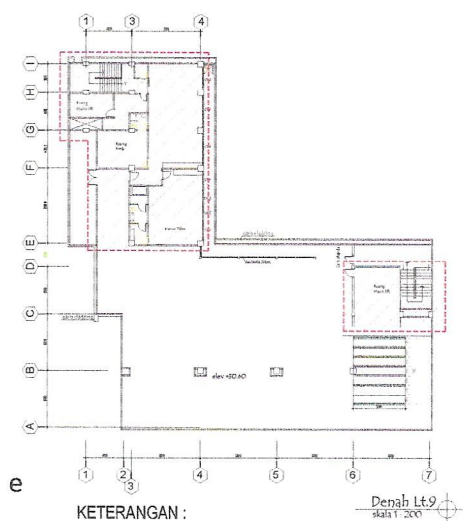
KETERANGAN :
 AREA DINDING BATA T=15 CM



KETERANGAN :
 AREA DINDING BATA T=15 CM



KETERANGAN :
 AREA DINDING BATA T=15 CM

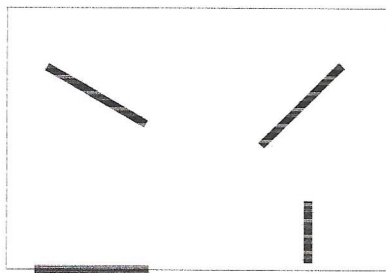


KETERANGAN :
 AREA DINDING BATA T=15 CM

Gambar 10. Denah perletakan : a). dinding beton & bata di basemen, b). dinding bata, eps & kaca di lt.01, c). dinding bata & eps di lt.02, d). dinding bata & eps di lt. 03 s/d 08, e). dinding bata di lt. 09 (sumber : analisa)

❑ **Konfigurasi Ireguler Sistem Non Paralel (Tipe –5)**

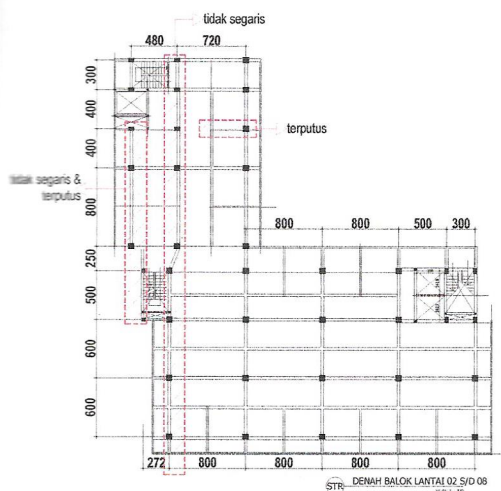
Menurut SNI 1726:2012, konfigurasi ini terbentuk jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan gaya gempa. Konfigurasi seperti ini akan menyebabkan elemen struktur atau sekelompok elemen struktur tertentu, pada saat terjadi gempa mengalami konsentrasi tegangan beban berlebihan. Hal ini disebabkan terputusnya jalur penyaluran gaya/beban atau sekelompok elemen struktur lebih kaku/lemah dibandingkan elemen struktur lainnya yang dominan. Untuk menguji apakah konfigurasi irreguler sistem non paralel terbentuk pada bangunan rumah sakit ini dengan ketentuan sbb :



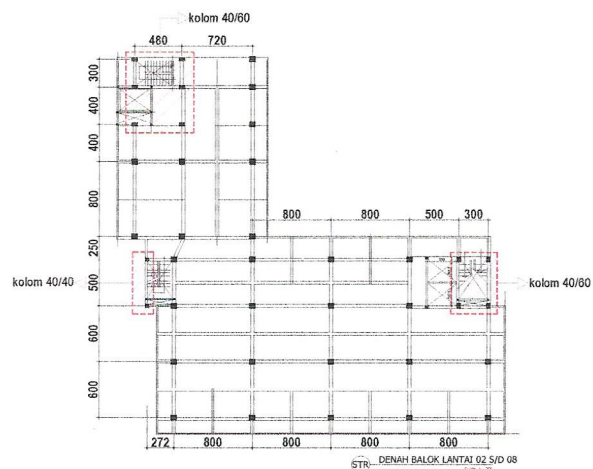
→ ada ireguleritas

Gambar 11. Ketentuan konfigurasi Ireguler sistem non paralel (Tipe –5)

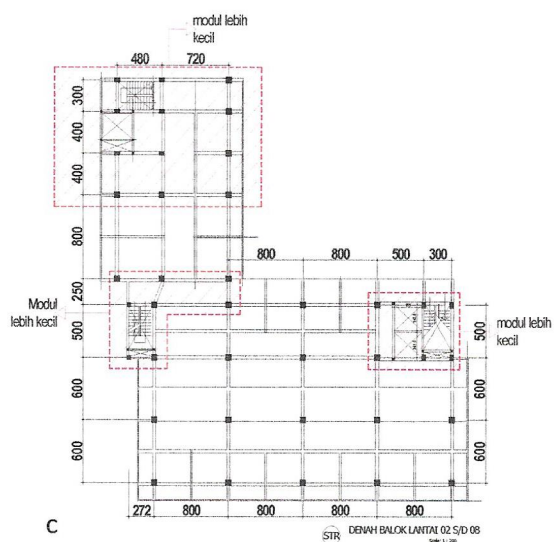
Pengelompokkan modul-modul kecil tersebut dapat meningkatkan konsentrasi beban/gaya pada balok dan kolom modul-modul tersebut (gmb 12b & 12c). Perletakan balok induk/utama tidak segaris atau terputus juga dapat menyebabkan terputusnya aliran beban (gmb. 12a) dan sehingga ketika terjadi gempa dapat menyebabkan kerusakan pada balok dan kolom akibat efek puntir pada balok dan konsentrasi tegangan pada balok dan kolom (gmb. 13).



a

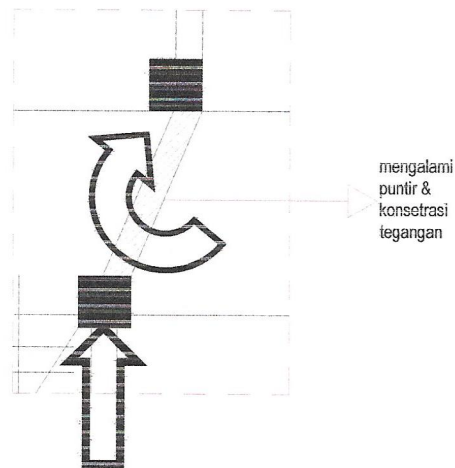


b



c

Gambar 12. Pengecekan konfigurasi ireguler
sistem non paralel : a). posisi balok dan kolom tidak sejajar, b).
dimensi kolom yang tidak sama, c). modul struktur yang
berbeda-beda (sumber : analisa)

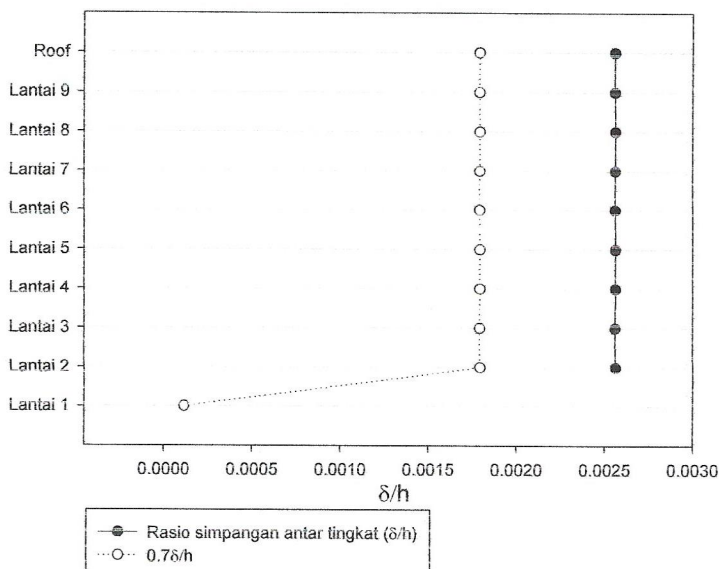


Gambar 13. Perletakan balok tidak sejajar dapat menyebabkan puntir & konsentrasi tegangan (sumber : analisa)

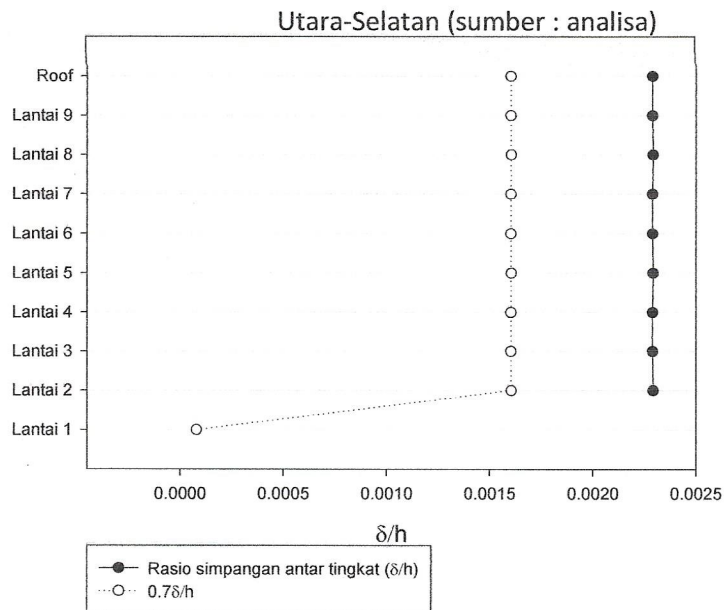
4.2. Konfigurasi Ireguler Vertikal

□ Konfigurasi Ireguler Kekakuan Tingkat Lunak (Tipe -1a) Dan Ireguler Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan (Tipe -1b)

Menurut SNI 1726:2012, konfigurasi ireguler tingkat lunak terbentuk jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Sedangkan ireguler tingkat lunak berlebihan terbentuk jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Kedua konfigurasi ireguler ini akan mengakibatkan tingkat fleksibel dibandingkan tingkat lainnya yang dapat menyebabkan keruntuhan tingkat tertentu pada bangunan.



Gambar 14. Pengecekan ireguler tingkat lunak 1a arah sumbu



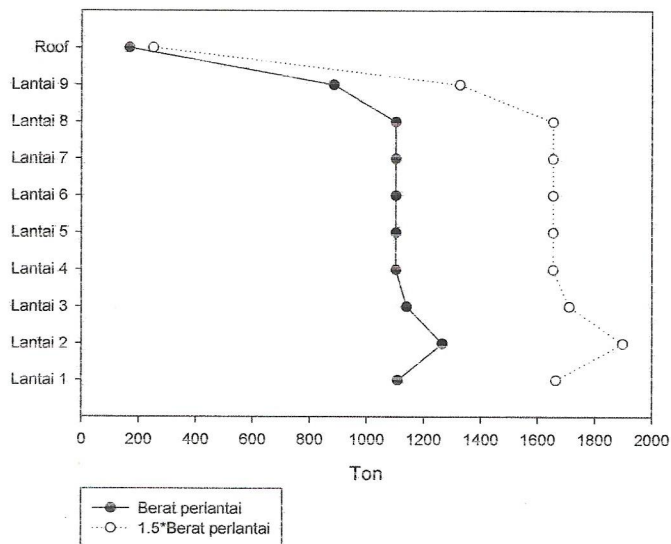
Gambar 15. Pengecekan ireguler tingkat lunak 1a arah
sumbu Barat-Timur (sumber : analisa)

Dari gambar 14 dan 15 menunjukkan bahwa tidak ada rasio simpangan antar tingkat atas (δ/h) lebih kecil 70% rasio simpangan antar tingkat dibawahnya. Hal ini berarti bangunan rumah sakit tidak terbentuk konfigurasi ireguler tingkat lunak –1a. Dengan tidak terbentuknya konfigurasi tingkat lunak –1a maka konfigurasi tingkat lunak berlebihan –1b tidak terbentuk juga pada bangunan rumah sakit. Hal ini menguntungkan karena dapat menghindarkan bangunan dari keruntuhan tingkat. Berdasarkan data-data kejadian gempa sebelumnya, keruntuhan tingkat paling sering terjadi pada bangunan dengan kondisi ireguler tingkat lunak pada saat terjadi gempa kuat.^{vi}

❑ Konfigurasi Ireguler Berat/Massa (Tipe –2)

Menurut SNI 1726:2012, konfigurasi ireguler berat/massa terbentuk jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat didekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai dibawahnya tidak perlu ditinjau. Konfigurasi ini dapat memperbesar simpangan tingkat pada bangunan dan jika massa yang lebih berat terkonsentrasi dibagian atas bangunan lebih dari 3 tingkat dapat menyebabkan efek pendulum yang dapat meningkatkan tegangan pada kolom.^{vii}

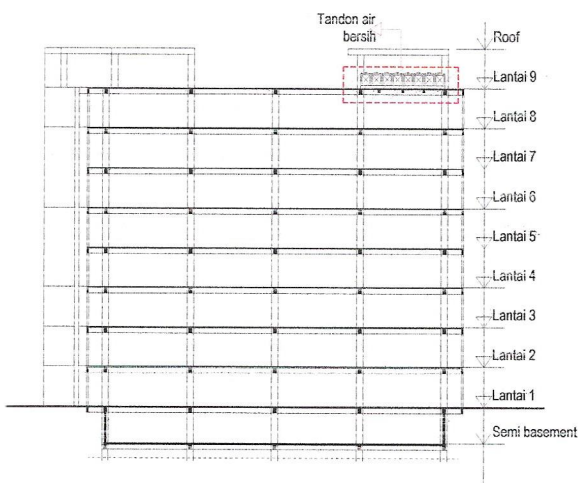
Dari perhitungan STAADPRO didapatkan berat bangunan per lantai yaitu :



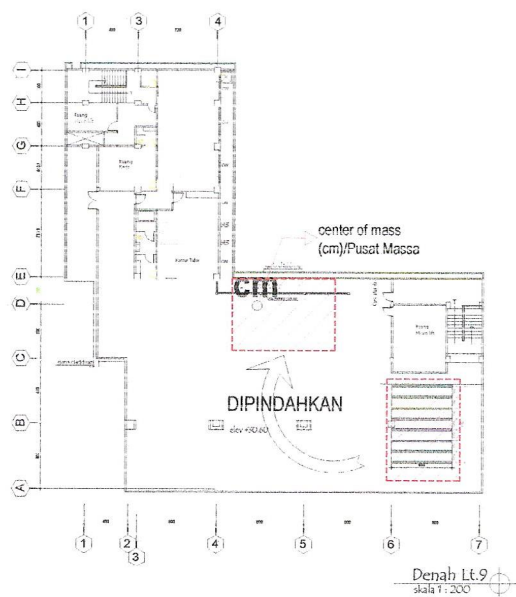
Gambar 16. Pengecekan ireguler berat/massa

(sumber : analisa)

Dari gambar 16 menunjukkan tidak ada lantai suatu tingkat mempunyai berat 150% dari lantai dibawah dan diatasnya. Hal ini berarti secara umum konfigurasi ireguler massa/berat tidak terbentuk pada bangunan rumah sakit.



Gambar 17. Perletakan tandon air di lantai 9 (sumber : analisa)

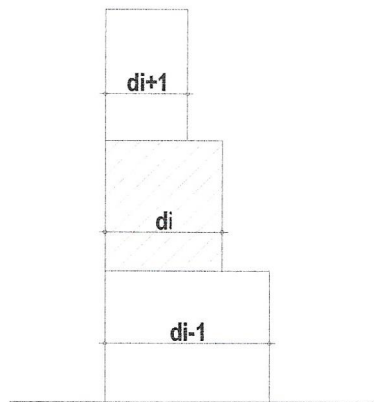


Gambar 18. Tandon air dipindah ke dekat pusat massa lt. (sumber : analisa)

Tetapi secara lokal terdapat konsentrasi tambahan beban mati yang harus diperhitungkan yaitu tandon air bersih di lantai 9 (gambar 17). Berat airnya ditambah berat tandon besinya yaitu $\pm 1,32$ ton/m². Walaupun berat tandon tidak mempengaruhi kekakuan bangunan secara keseluruhan tetapi sangat mempengaruhi kekuatan elemen struktur yang menahannya terutama ketika terjadi efek dinamis pada saat terjadi gempa. Efek ini sebenarnya dapat dikurangi dengan meletakkan tandon tersebut di dekat pusat massa lantai (gambar 18) sehingga mengurangi eksentrisitasnya dengan pusat kekakuan yang salah satunya dipengaruhi distribusi beban pada lantai bangunan.

❑ Konfigurasi Ireguler Geometri Vertikal (Tipe –3)

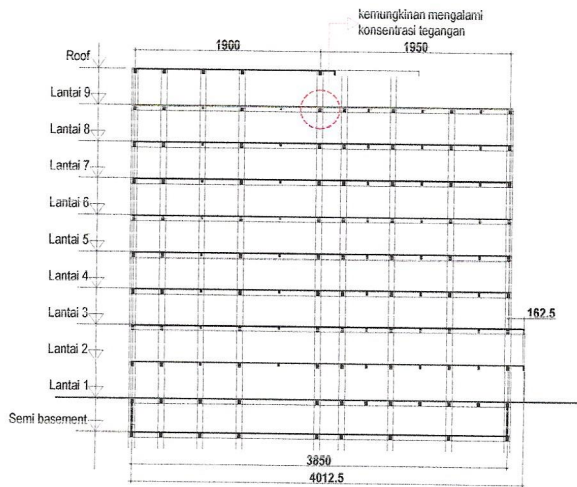
Menurut SNI 1726:2012, konfigurasi ireguler geometri vertikal terbentuk jika dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa di semua tingkat tidak lebih dari 130% dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya. Konfigurasi ini dapat meningkatkan konsentrasi tegangan pada elemen-elemen struktur dilokasi perpindahan tingkat yang mengalami diskontinuitas. Untuk menguji apakah konfigurasi ireguler geometri vertikal terbentuk pada bangunan rumah sakit ini dengan ketentuan sbb :



$$\frac{d_i}{d_{i+1}} > 1,3 \text{ atau } \frac{d_{i-1}}{d_i} > 1,3 \rightarrow \text{ada ireguleritas}$$

Gambar 16. Ketentuan konfigurasi ireguler geometri vertikal (Tipe –3)

Bangunan rumah sakit memiliki kantilever di lantai 1 s/d 9 = 162,5 cm dan set back dilantai 9 = 1900 cm dengan panjang tipikal bangunan pada sumbu –Y = 3850 m. Jika diperbandingkan rasio panjang kantilever = $(3850+162,5)/3850 = 1,04 < 1,3$ (oke). Rasio setback = $3850/1900 = 2,03 > 1,3$ (not oke), berarti terjadi konfigurasi ireguler geometri vertikal. Tetapi jika dilihat berat beban *roof* yang ditahannya lebih ringan dibandingkan lainnya bisa jadi konsentrasi tegangan yang terjadi tidak terlalu berarti.

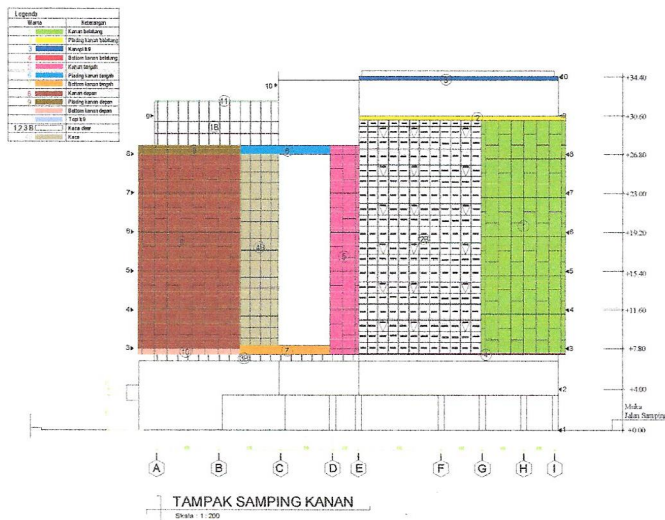


Gambar 17. Pengecekan ireguler geometri vertikal (sumber : analisa)

❑ Konfigurasi Ireguler Diskontinuitas Arah Bidang Dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal (Tipe -4)

Penggunaan dinding bata di rumah sakit ini penggunaannya relatif teratur digunakan di area-area servis dan sebagian fasade bangunan. Hal ini memberikan respon yang baik jika seandainya terjadi gempa karena kemungkinan terkonsentrasinya tegangan dan *soft story* pada elemen-elemen struktur tertentu akibat perletakan dinding bata yang tidak teratur. Karena dinding bata walaupun termasuk *non bearing wall* pada kenyataannya memiliki kekakuan yang dapat memberikan kontribusi kekakuan bangunan secara keseluruhan jika diatur dengan baik sehingga tidak membentuk perubahan kekakuan yang mendadak tetapi jika diatur dengan tidak baik cenderung tidak menerus dapat membentuk *soft story* dan/atau *short column*.

Penggunaan dinding bata di rumah sakit ini penggunaannya relatif teratur digunakan di area-area servis dan sebagian fasade bangunan. Hal ini memberikan respon yang baik jika seandainya terjadi gempa karena dinding bata memiliki kekakuan sehingga kemungkinan terkonsentrasinya tegangan dan *soft story* pada elemen-elemen struktur tertentu akibat perletakan dinding bata yang tidak teratur dapat dihindari.



Gambar 17. Konfigurasi dinding bata & kaca (sumber : analisa)

Konfigurasi Ireguler Diskontinuitas Dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat (Tipe-5a) Dan Diskontinuitas Dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat Berlebihan (Tipe -5b)

Menurut SNI 1726:2012, konfigurasi ireguler diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat terbentuk jika kuat lateral tingkat kurang dari 80% kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau. Sedangkan konfigurasi ireguler diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat berlebihan terbentuk jika kuat lateral tingkat kurang dari 65% kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat tingkat adalah kuat total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau. Konfigurasi seperti ini akan menyebabkan *failure* pada elemen struktur vertikal seperti kolom sehingga dapat menyebabkan bangunan *collapse*.

Berdasarkan perhitungan STAADPRO masing-masing tingkat memiliki kekakuan yaitu :

Tabel 03. Pengecekan ireguler diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat dan tingkat berlebihan sumbu -X (sumber : analisa)

Lantai	Kekakuan tingkat -K (m4)	0.8*K	0.65*K	Cek ireguler 5a	Cek ireguler 5b
Roof	1.139E+07	9.11E+06	7.40E+06	-	-
Lantai 9	4.365E+07	3.49E+07	2.84E+07	tidak	tidak
Lantai 8	4.542E+07	3.63E+07	2.95E+07	tidak	tidak
Lantai 7	4.774E+07	3.82E+07	3.10E+07	tidak	tidak
Lantai 6	4.994E+07	4.00E+07	3.25E+07	tidak	tidak
Lantai 5	5.217E+07	4.17E+07	3.39E+07	tidak	tidak
Lantai 4	5.561E+07	4.45E+07	3.61E+07	tidak	tidak
Lantai 3	5.999E+07	4.80E+07	3.90E+07	tidak	tidak
Lantai 2	9.095E+07	7.28E+07	5.91E+07	tidak	tidak
Lantai 1	2.153E+09	-	-	-	-

Tabel 04. Pengecekan ireguler diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat dan tingkat berlebihan sumbu -Y

(sumber : analisa)

Lantai	Kekakuan tingkat -K (m4)	0.8*K	0.65*K	Cek ireguler 5a	Cek ireguler 5b
Roof	2.36E+07	1.89E+07	1.53E+07	-	-
Lantai 9	4.67E+07	3.73E+07	3.03E+07	tidak	tidak
Lantai 8	5.25E+07	4.20E+07	3.41E+07	tidak	tidak
Lantai 7	5.46E+07	4.37E+07	3.55E+07	tidak	tidak
Lantai 6	5.64E+07	4.51E+07	3.67E+07	tidak	tidak
Lantai 5	5.81E+07	4.65E+07	3.78E+07	tidak	tidak
Lantai 4	6.03E+07	4.82E+07	3.92E+07	tidak	tidak
Lantai 3	6.44E+07	5.15E+07	4.18E+07	tidak	tidak
Lantai 2	9.70E+07	7.76E+07	6.31E+07	tidak	tidak
Lantai 1	3.08E+09	-	-	-	-

Dari tabel 03 dan 04 tidak ada kekakuan tingkat tertentu < 80% kekakuan tingkat di atasnya. Hal ini berarti tidak terbentuk konfigurasi ireguler vertikal diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat dan diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat berlebihan pada struktur bangunan rumah sakit. Sehingga kekuatan lateral tingkat bangunan rumah sakit diperkirakan cukup kuat menahan gaya geser tingkat akibat gempa.

Kesimpulan dan Saran

Menurut Peraturan *US Departement of Veteran Affair* tentang Disain Seismik Untuk Rumah Sakit ada 4 konfigurasi ireguler vertikal yang tidak boleh terjadi di rumah sakit^{viii} yaitu Konfigurasi Ireguler Kekakuan Tingkat Lunak (Tipe -1a), Ireguler Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan (Tipe -1b), Konfigurasi Ireguler Berat/Massa (Tipe -2) dan Konfigurasi Ireguler Geometri Vertikal (Tipe -3). Dari 4 kategori di atas rumah sakit ini masih sedikit mengandung

konfigurasi vertikal tipe 2 dan 3. Secara umum disain konfigurasi bangunan rumah sakit responnya terhadap kemungkinan terjadi gempa di daerah Palembang masih cukup baik. Tetapi hal tersebut harus didukung juga disain struktur yang baik misalnya daktilitas kolom dan balok, pengerjaan konstruksi yang memadai dan pemeliharaan yang rutin. Jika tidak hal-hal yang diperkirakan diatas tidak menimbulkan masalah tetapi dengan kualitas disain struktur yang buruk, pengerjaan konstruksi yang sembarangan dan tidak dipelihara dengan baik hal seperti terjadinya eksentrisitas yang kecil saja bisa menimbulkan masalah torsi pada bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹. Lalu Makrup, *Seismic Hazard Untuk Indonesia*, Yogyakarta : Graha Ilmu, 2009
- ². Masyhur Irsyam dkk, *Peta Hazard Gempa Indonesia 2010-Sebagai Acuan Dasar Perencanaan Dan Perancangan Infrastruktur Tahan Gempa*, Jakarta : Kementrian Pekerjaan Umum, 2010.
- ³. Zeynep Yesim Harmankaya dan Asena Soyluk, 2012, *Architectural Design of Iregular Buildings in Turkey*, International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS Vol: 12 No: 01.
- ⁴. BSN, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung - SNI 1726 : 2012*, 2012.
- ⁵. T. Paulay dan MJN. Priestley, *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, Canada : John Wiley & Sons Inc., 1992.
- ⁶. Bungale S Taranath, *Reinforced Concrete Design of Tall Buildings*, Florida : CRS Press, 2010.
- ⁷. George G. Penelis and Gregory G. Penelis, *Concrete Buildings in Seismic Regions*, Florida : CRS Press, 2014.
- ⁸. Llyoid H. Siegel et. al., *VA Hospital Seismic Design Requirements*, US Departement of Veterans Affairs, 2013.